

**NASKAH PUBLIKASI**

**PERANCANGAN PABRIK**  
***CUMENE DARI PROPYLENE DAN BENZENE***  
***DENGAN PROSES Q-MAX MENGGUNAKAN KATALIS***  
***QZ2000/2001***  
**KAPASITAS 80.000 TON PER TAHUN**



**Oleh :**  
**DEA PURWANDI**  
**D 500 080 003**

Dosen Pembimbing :  
M. Mujiburohman, ST, MT, PhD.  
Rois Fatoni, ST, MSc., PhD.

**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**  
**SURAKARTA**  
**2013**

HALAMAN PENGESAHAN



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK KIMIA

Nama : Dea Purwandi  
NIM : D 500 080 003  
Judul Tugas Prarancangan Pabrik : Prarancangan Pabrik *Cumene* dari  
*Propylene dan Benzene* Dengan Proses  
*Q-Max Menggunakan katalis*  
*QZ2000/2001* Kapasitas 80.000 Ton  
Per Tahun

Dosen Pembimbing : 1. M. Mujiburohman, ST, MT, PhD.  
2. Rois Fatoni, ST. MSc. PhD

Surakarta, 19 Maret 2013

Dosen Pembimbing I

M. Mujiburohman, ST, MT, PhD.

Dosen Pembimbing II

Rois Fatoni, ST, MSc., PhD.

Mengetahui,



Dekan Fakultas Teknik

Ir. Agus Riyanto, M.T.



Ketua Jurusan Teknik Kimia

Rois Fatoni, ST, MSc., PhD.

## Abstrak

*Cumene* atau *isopropyl benzene* adalah senyawa yang berfungsi untuk meningkatkan nilai oktan dari bensin. Selain itu juga dapat digunakan sebagai bahan baku phenol. Semua *cumene* yang dibutuhkan Indonesia berasal dari luar negeri. Jelas akan berdampak yang signifikan terhadap harga *cumene* di Indonesia dikarenakan ketergantungan negara kita untuk mengimpor *cumene* terus menerus. Ironis, melihat negara Indonesia sebagai pengguna bahan bakar minyak bumi terbesar, namun tidak mempunyai pabrik yang memproduksi senyawa ini. Hal inilah yang menjadi landasan penulis. Senyawa *cumene* terbentuk dari senyawa *propylene* dan *benzene* dalam keadaan gas maupun cair. Dari fakta yang ada sebagian besar pabrik *cumene* di dunia memilih mereaksikan bahan baku dalam fase gas, dikarenakan efisiensi *cumene* lebih tinggi dan limbah *diisopropyl benzene (DIPB)* yang merupakan hasil samping produksi, dapat direaksikan kembali dengan *benzene* membentuk produk *cumene*.

Proses pembuatan *cumene* dalam perancangan ini, menggunakan reaktor *fixed bed multitube* fase gas, dan *nonisothermal*. Dengan kondisi operasi yang berlangsung pada suhu 350°C dan tekanan 25 atm. Pabrik ini, menggunakan dua reaktor. Reaktor pertama bertindak sebagai reaktor alkilasi, yang mereaksikan *propylene* dan *benzene* menghasilkan *cumene* menggunakan katalis QZ2001. Reaktor kedua bertindak sebagai reaktor *trans*-alkilasi yang mereaksikan *DIPB* dan *benzene* menghasilkan *cumene* menggunakan katalis QZ2000. Untuk menghasilkan *cumene* 80.000 ton setiap tahun dibutuhkan bahan baku *propylene* sebanyak 28.008,77 ton dan *benzene* 51.987,87 ton. Utilitas pendukung proses meliputi penyediaan bahan air sebesar 23.500,00 kg/jam yang diperoleh dari air sungai, bahan bakar yang dibutuhkan boiler adalah bakar minyak solar sebesar 1990,63 liter/jam, kebutuhan udara tekan sebesar 300 m<sup>3</sup>/jam, kebutuhan listrik diperoleh dari PLN dan *generator set* sebesar 447 kW sebagai cadangan, bahan bakar sebanyak 60,00 m<sup>3</sup>/jam.

Pabrik ini didirikan di kawasan Industri Banten dengan luas tanah 60.200 m<sup>2</sup> sedangkan bahan baku *Isobutylene* direncanakan diperoleh propylene dari PT. Chandra Asri di Cilegon dengan kapasitas terpasang 218.700 ton/tahun dan *benzene* dari kilang paraxylene di Cilacap dengan kapasitas 128.000 ton/tahun dan dari Pertamina Balongan. Jumlah karyawan pabrik ini direncanakan berjumlah 170 orang. Pabrik *cumene* ini menggunakan modal tetap sebesar Rp 447.147.765.868,34 dan modal kerja Rp 1.237.065.888.446,94. Dari analisis ekonomi pabrik ini menunjukkan keuntungan sebelum pajak Rp 97.116.178.681,93 per tahun setelah dipotong pajak 25 % keuntungan mencapai Rp 72.837.134.011,45 per tahun. *Percent Return On Investment (ROI)* sebelum pajak 21,72 % dan setelah pajak 16,29 %. *Pay Out Time (POT)* sebelum pajak selama 4,19 tahun dan setelah pajak 5,58 tahun. *Break Even Point (BEP)* sebesar 45,27 %, dan *Shut Down Point (SDP)* sebesar 25,98 %. *Discounted Cash Flow (DCF)* terhitung sebesar 24,44 %. Dari data analisis kelayakan ekonomi disimpulkan bahwa pabrik ini menguntungkan dan layak untuk didirikan.

## **A. Pendahuluan**

Perkembangan industri di Indonesia khususnya industri kimia terus mengalami peningkatan. Dengan meningkatnya industri kimia, maka kebutuhan unsur-unsur penunjang industri juga meningkat, termasuk bahan-bahan pembantu dan penunjang.

Kebutuhan bahan baku dan bahan penunjang industri di Indonesia masih banyak didatangkan dari luar negeri. Jika bahan baku dan penunjang ini bisa dihasilkan sendiri di dalam negeri, tentunya dapat menghemat pengeluaran devisa, meningkatkan ekspor, dan juga dapat meningkatkan penguasaan teknologi.

Cumene merupakan salah satu bahan kimia yang pengadaannya masih didatangkan dari luar negeri, karena Indonesia belum mempunyai industri yang memproduksi cumene. (Digital Information Service, 2010)

Berdasarkan Data Badan Pusat Statistik, pada tahun 2009 Indonesia mengimpor cumene sebesar 2.851.382 kg seharga USD 2.469.071 untuk kebutuhan dalam negeri, dengan melihat data tabel impor cumene Indonesia di bawah terlihat bahwa, kebutuhan cumene di Indonesia cenderung tetap pada kisaran 2,9 ribu ton pertahun dengan harga yang terus meningkat pada tahun ke tahun, walaupun pengadaannya masih tergantung dari harga, contohnya pada tahun 2007 dengan harga USD 155 per kilogram cumene, impor Indonesia hanya 1 kg, apabila di Indonesia telah berdiri sebuah Pabrik cumene, mungkin kejadian ini tidak akan terjadi lagi, dan Industri derivative dari cumene dapat lebih meningkatkan produksinya tanpa harus menghiraukan harga dan ongkos Impor cumene dari luar negeri.

Hal diatas dapat menjadi pertimbangan yang cukup untuk mengkaji lebih dalam gagasan pendirian suatu pabrik cumene di Indonesia sebagai investasi untuk masa depan.

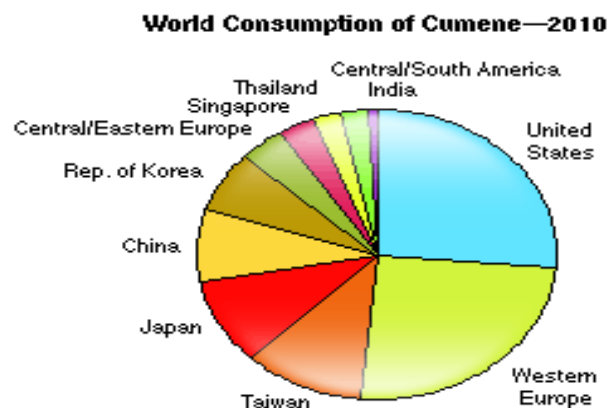
## B. Perancangan Kapasitas

Tabel 1.1 Impor Cumene Indonesia

Tahun Impor	Berat (kg)	Nominal (US\$)
1999	3.046.752	1.323.149
2000	2.642.373	1.796.094
2001	998.046	577.669
2002	2.991.441	1.648.551
2003	2.932.169	1.923.567
2004	2.979.601	2.889.471
2005	2.969.535	3.186.201
2006	1.982.926	2.331.737
2007	1	155
2008	2.785.305	4.224.331
2009	2.851.382	2.469.071

(Badan Pusat Statistik, 2010)

Selain Indonesia, kebutuhan cumene sangat dibutuhkan negara-negara lain seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.1. serta pertumbuhannya akan meningkat tiap tahunnya sekitar 4,5% dari kebutuhan total dunia. Hal ini bisa dijadikan pertimbangan untuk didirikannya pabrik cumene di Indonesia. Sebagai alasan pendukung, pemerintah memasukan daftar cumene sebagai bahan potensial yang layak untuk diproduksi berkapasitas besar di Indonesia.



Gambar.1.1 konsumsi cumene terbesar di Dunia (HIS chemical)

Ketersediaan bahan baku diambil dari dalam negeri, yaitu propylene dari PT. Chandra Asri di Cilegon dengan kapasitas terpasang 218.700 ton/tahun dan benzene dari kilang paraxylene di Cilacap dengan kapasitas 128.000 ton/tahun, sehingga ada keterkaitan positif antar industri dalam negeri.

Berdasarkan pertimbangan diatas maka dalam perancangan pabrik *cumene* yang akan didirikan pada tahun 2017 ditentukan kapasitas sebesar 80.000 ton/tahun. Kapasitas ini ditetapkan dengan beberapa tujuan antara lain:

1. Dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri,
2. Dapat diekspor sehingga menghasilkan devisa bagi negara,
3. Dapat merangsang berdirinya industri kimia lain yang menggunakan *cumene* sebagai bahan baku seperti industri *phenol*

Pabrik *cumene* ini akan didirikan di kawasan industri Merak Banten, berdasarkan pertimbangan kemudahan transportasi produk dengan tersedianya fasilitas pelabuhan, faktor akses bahan baku yang dekat, peluang perluasan pabrik, kebijakan pemerintah, pajak, dan situasi sosial yang mendukung.

### **C. Pemilihan Jenis Proses**

Cumene adalah bahan kimia murni yang dibuat dari propylene dan benzena. Nama lain dari *cumene* adalah isopropylbenzena, cumol, isopropylbenzol dan 2-phenylpropane. Proses dasar pembuatan *cumene* adalah propylalkylation dari benzena pada fase cair dengan menggunakan katalis asam sulfat. Karena kompleksnya reaksi penetralan dan banyaknya langkah recycle, maka proses ini jarang digunakan. Selanjutnya seiring dengan perkembangan jaman, proses pembuatan *cumene* berkembang menjadi beberapa proses diantaranya :

#### **1. Metode Terdahulu**

1. Proses Aluminium kloride

Pada proses ini reaksi pembentukan *cumene* berlangsung pada fase cair dengan menggunakan katalis aluminium kloride.

## 2. Proses Catskill

Proses Catskill mengkombinasikan reaksi katalitik dan distilasi dengan menggunakan katalis zeolit

## 3. Proses Mobil / Badger

Proses ini merupakan reaksi katalitik fase cair dengan menggunakan katalis zeolit serta menghasilkan produk dengan kemurnian yang tinggi, yield tinggi dengan biaya operasi yang rendah.

## 4. Proses Phosphoric Acid Catalytic

Proses ini dikembangkan oleh Universal Oils Products ( UOP ), merupakan reaksi katalitik yang berlangsung pada fase gas dengan menggunakan katalis asam fosfat kisegühr.

Dari beberapa proses pembuatan cumene diatas, proses Phosphoric Acid Catalytic merupakan proses yang paling banyak digunakan dalam industri. ( Vaith & Keyes, 1965 )

## 2. Metode Terbaru

Metode *Q-Max process* dapat dikatakan metode terbaru dari pembuatan cumene dengan skala besar. Hal ini dikarenakan keunggulan katalisnya yang dapat diregenerasi serta hasil samping limbahnya dapat diolah kembali. Metode *Q-Max process* menggunakan bahan berfase gas dengan tekanan 25 atm pada suhu 350°C. Kedua reaktor yang digunakan adalah *fixed bed*, dengan reaktor pertama berfungsi sebagai tempat terjadinya reaksi alkilasi antara propylene dan benzene dengan hasil produknya adalah cumene sedangkan reaktor yang kedua sebagai tempat terjadinya reaksi transalkilasi antara DIPB(sebagai limbah) dengan benzene dengan hasil produknya cumene ringan. Dari reaktor pertama, produk masuk ke depropanizer kemudian hasil atas depropanizer masuk ke reaktor kedua bersama dengan hasil bawah dari kolom destilasi kedua. Hasil produk dari reaktor kedua dan hasil bawah depropanizer digabungkan kemudian dipisahkan ke kolom destilasi kesatu. Hasil atas kolom destilasi di *recycle* kembali, sedangkan hasil bawah kolom

destilasi kesatu dipisahkan kembali di dalam kolom destilasi kedua. (UOP LLC, 2006)

### 3. Dasar Pemilihan Proses

Proses yang dipilih adalah proses dengan metode terbaru yaitu dengan menggunakan proses Q-Max menggunakan katalis QZ2000/2001 karena pertimbangan sebagai berikut :

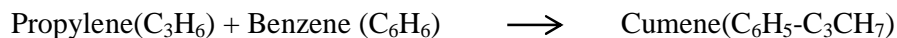
1. Konversi yield tinggi dengan artian kuantitas produk lebih banyak dibandingkan dengan proses lainnya
2. Kemurnian cumene dapat mencapai 99,9 %
3. Katalis yang digunakan dapat diregenerasi kembali. Sehingga secara ekonomi lebih hemat dibandingkan proses lainnya

### D. Tinjauan Kinetika

Mekanisme reaksi dalam pembentukan cumene terjadi dengan bantuan katalis QZ000/2001 pada tekanan 25 atm dan suhu 350 °C dapat ditinjau melalui dua tahap reaksi sebagai berikut:

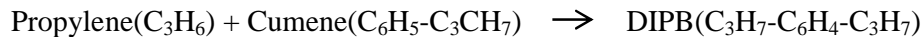
#### Reaksi alkilasi

Reaksi utama:



*Nilai 1 mol propylene = 1 mol benzene = 1 mol cumene, Akan tetapi rasio*

Reaksi samping:



*Nilai 2 mol propylene = 1 mol cumene = 1 mol DIPB,*

Data:

Sedangkan selectivity antara cumene dan DIPB adalah 31:1

Dalam pembentukan cumene

$$K = 2,8 \times 10^7 \text{ dimana}$$

$$E(\text{kJ/kmol}) = 10414$$

Dalam pembentukan DIPB

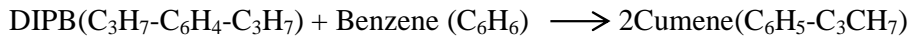
$$K = 2,32 \times 10^9 \text{ dimana}$$

$$E(\text{kJ/kmol}) = 146742 \text{ [Turton et al, 2003]}$$



## Reaksi Transalkilasi

Reaksi utama:



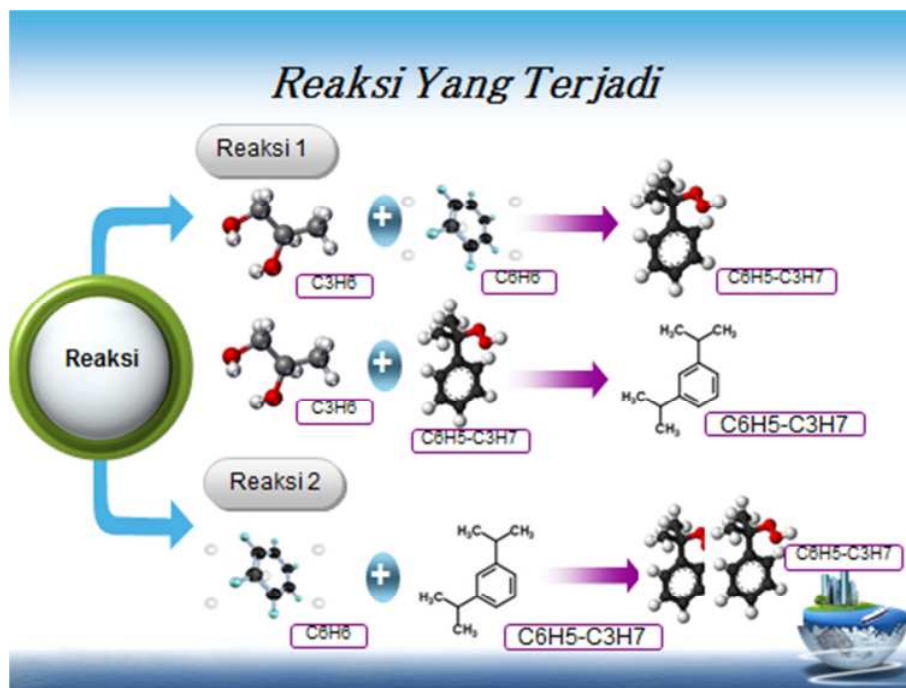
Nilai 1 mol DIPB = 1 mol benzene = 2 mol cumene,

Data:

$$K = 6,52 \times 10^{-3} \exp (27240/RT)$$

Data konstanta keseimbangan untuk reaksi trans-alkylation diambil dari reaction is obtained for modified zeolite beta catalyst, YSBH-01, [Lei et al, 2007]

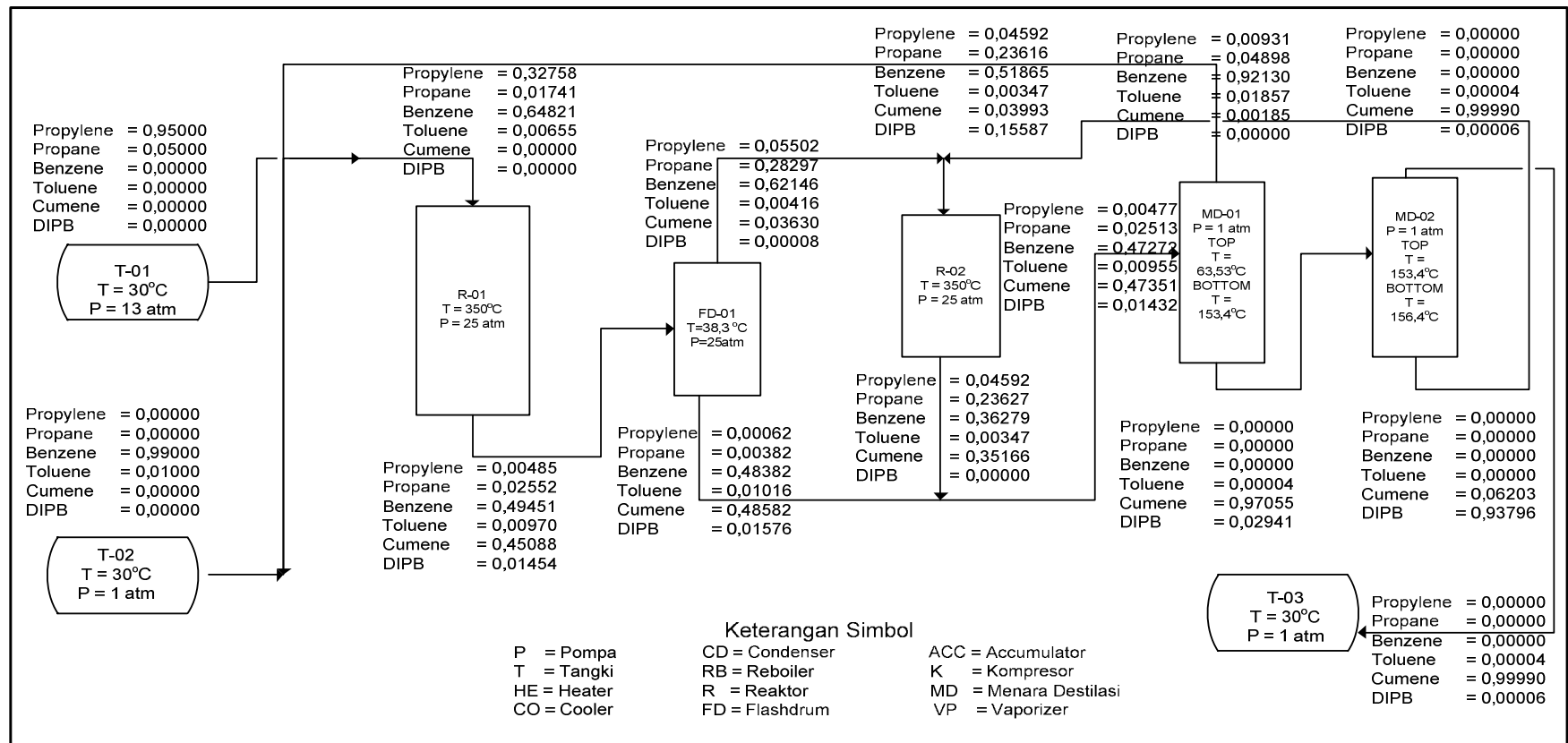
Untuk kinetika dapat dilihat pada gambar 1.1.



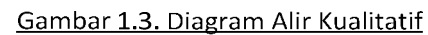
Gambar 1.1. kinetika reaksi antara propylene dan benzene

Proses pembentukan cuemene merupakan reaksi eksotermis yang berlangsung pada fase gas dalam sebuah reaktor *fixed bed multitube* jenis reaksi *alkilasi* pada suhu reaksi 350 °C dan tekanan 25 atm menggunakan katalis QZ2001, Konversi reaksi mencapai 99% dan selektivitasnya mencapai 97% antara produk utama(cumene) dan produk samping(DIPB).

Adapun tinjauan untuk melihat lebih detail dari hasil perancangan dapat dilihat pada gambar 1.2. dan 1.3.



Gambar 1.2. Diagram Alir Kuantitatif



Gambar 1.3. Diagram Alir Kualitatif

## E. Spesifikasi Alat Utama Proses

### 1. Reaktor ( R-01 )

Tugas : Mereaksikan 3769,25 kg/jam propylene dengan 13285,5 kg/jam benzene menjad 17054,7 kg/jam cumene

Jenis : Reaktor *fixed bed multitube*

Jumlah : 1 (satu) buah

Kondisi operasi :

suhu : 350°C - 396°C

tekanan : 25 atm

Jenis katalis: QZ2000/2001

Dimensi :

- *Shell*
  - Diameter : 2,0828 m
  - Tebal *shell* : 0,25 in
  - Jarak *baffle* : 0,5207 m

Bahan : *Carbon Steel SA-283 Grade C*

- *Head*
  - Jenis : *Elliptical Dished Head*
  - Diameter : 2,0955 m
  - Tebal head : 3 in

Bahan : *Carbon Steel SA-283 Grade C*

- *Tubes*
  - Jumlah: 2193 buah
  - Susunan : *Triangular Pitch*
  - Jenis : *Steel pipe IPS 1 in sch, No, 40*
  - Pitch* : 1 9/16 in
  - Clereance* : 0,3125 in
  - Panjang : 5,25 m
- Tinggi reaktor : 8,1851 m

### 2. Reaktor ( R-02)

Tugas : Mereaksikan DIPB dari hasil bawah MD-02 dengan benzene dari hasil atas FD-01 menjadi 689,26 kg/jam cumene

Jenis : Reaktor *fixed bed multitube*

Jumlah : 1 (satu) buah,

Kondisi operasi :

suhu : 350°C - 362°C

tekanan : 25 atm

Jenis katalis: QZ2000/2001

Dimensi :

- *Shell* Diameter : 0,8636 m  
Tebal *shell* : 0,25 in  
Jarak *baffle* : 0,2159 m

Bahan : *Carbon Steel SA-283 Grade C*

- *Head* Jenis : *Elliptical Dished Head*  
Diameter : 0,1988 m  
Tebal head : 3 in

Bahan : *Carbon Steel SA-283 Grade C*

- *Tubes* Jumlah: 336 buah  
Susunan : *Triangular Pitch*  
Jenis : *Steel pipe IPS 1 in sch, No, 40*  
*Pitch* : 1 9/16 in  
*Clarence* : 0,3125 in  
Panjang : 2 m
- Tinggi reaktor : 2,3977 m

### 3. Menara Destilasi 1 ( MD-01 )

Tugas : Memisahkan benzena sebagai hasil atas sebanyak 6974,038 kg/j ( untuk di *recycle* ke reaktor ) dengan cumene sebagai hasil bawah sebanyak 10511,87 kg/j,

Jenis : *Vessel* vertikal dengan *Torispherical Dished Head*

Jumlah : 1 (satu) buah,

Kondisi operasi :

- Puncak menara : suhu : 38,70 °C

- |  |         |         |
|--|---------|---------|
|  | tekanan | : 1 atm |
|--|---------|---------|
- |                |   |         |             |
|----------------|---|---------|-------------|
| ▪ Dasar menara | : | suhu    | : 153,22 °C |
|                |   | tekanan | : 1 atm     |
- Jenis *plate* : *Sieve tray*,
- Dimensi :
- |                        |   |                                    |
|------------------------|---|------------------------------------|
| ▪ Diameter             | : | 1,9812 m                           |
| ▪ Tebal shell          | : | $\frac{3}{16}$ in                  |
| ▪ <i>Plate spacing</i> | : | 0,3 m                              |
| ▪ Tinggi kolom         | : | 10,590 m                           |
| ▪ Bahan                | : | <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> |

#### 4. Menara Destilasi 2 ( MD-02 )

Tugas : Memisahkan produk cumene sebagai hasil atas sebanyak 10080,376 kg/j dengan DIPB sebagai hasil bawah sebanyak 432,51 kg/j

Jenis : *Vessel* vertikal dengan *Torispherical Dished Head*

Jumlah : 1 (satu) buah

Kondisi operasi :

- |                 |   |         |              |
|-----------------|---|---------|--------------|
| ▪ Puncak menara | : | suhu    | : 152,461 °C |
|                 |   | tekanan | : 1 atm      |
- |                |   |         |            |
|----------------|---|---------|------------|
| ▪ Dasar menara | : | suhu    | : 156,64°C |
|                |   | tekanan | : 1 atm    |

Jenis *plate* : *Sieve tray*,

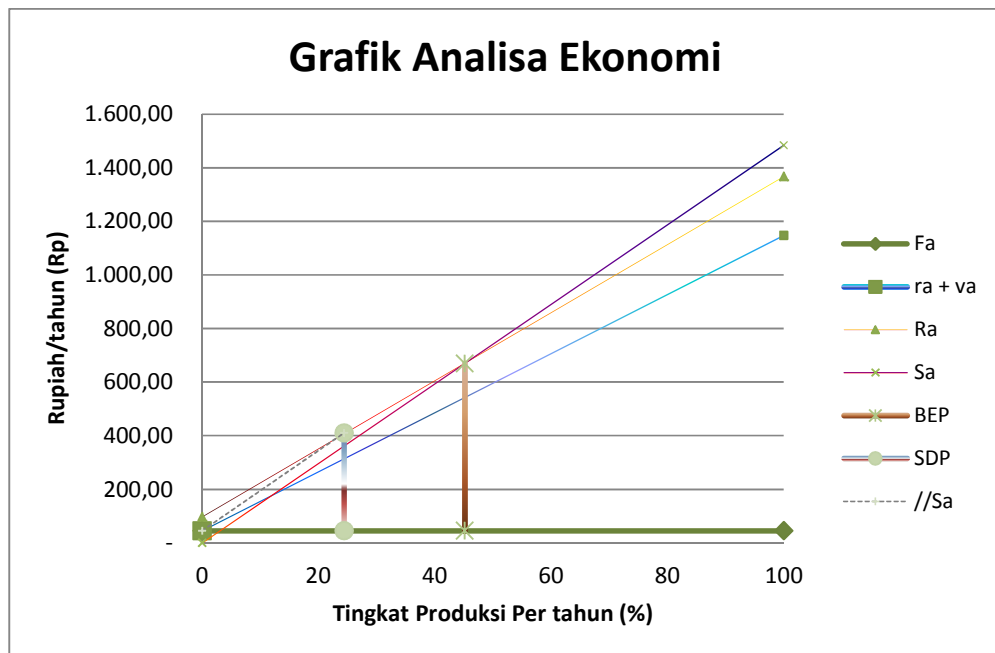
Dimensi :

- |                        |   |                                    |
|------------------------|---|------------------------------------|
| ▪ Diameter             | : | 1,9812 m                           |
| ▪ Tebal shell          | : | $\frac{3}{16}$ in                  |
| ▪ <i>Plate spacing</i> | : | 0,3 m                              |
| ▪ Tinggi kolom         | : | 6,99 m                             |
| ▪ Bahan                | : | <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> |

## F. Analisis Ekonomi

Pabrik *cumene* ini menggunakan modal tetap sebesar Rp 447.147.765.868,34 dan modal kerja sebesar Rp 1.237.065.888.446,94 . Dari analisis ekonomi pabrik ini menunjukkan keuntungan sebelum pajak Rp 97.116.178.681,93 per tahun setelah dipotong pajak 25 % keuntungan mencapai Rp 72.837.134.011,45 per tahun. *Percent Return On Investment* (ROI) sebelum pajak 21,72 % dan setelah pajak 16,29 %. *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak selama 4,19 tahun dan setelah pajak 5,58 tahun. *Break Even Point* (BEP) sebesar 45,27 %, dan *Shut Down Point* (SDP) sebesar 25,98 %. *Discounted Cash Flow* (DCF) terhitung sebesar 24,44 %

Adapun untuk gambar hasil analisis dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 1.4. Grafik analisa ekonomi

## **G. Kesimpulan**

Pabrik cumene digolongkan pabrik beresiko tinggi, karena pabrik beroperasi pada suhu dan tekanan tinggi. Hasil analisis kelayakan ekonomi adalah sebagai berikut:

1. Keuntungan sebelum pajak Rp. 97.116.178.681,43 per tahun  
Keuntungan setelah pajak Rp. 72.837.134.011,45 per tahun
2. ROI (*Return On Investment*) sebelum pajak 21,72 %  
ROI (*Return On Investment*) sesudah pajak 16,29 %  
ROI (*Return On Investment*) sebelum pajak untuk pabrik beresiko tinggi minimal 44%.
3. POT (*Pay Out Time*) sebelum pajak 4,19 tahun  
POT (*Pay Out Time*) sesudah pajak 5,58 tahun  
POT (*Pay Out Time*) sebelum pajak untuk pabrik beresiko tinggi maksimal 2 tahun.
4. BEP (*Break Even Point*) adalah 45,27 % dan SDP (*Shut Down Point*) adalah 25,98%. BEP untuk pabrik kimia pada umumnya berkisar antara 40% - 60%.
5. DCF (*Discounted Cash Flow*) adalah 24,44 %.  
DCF yang dapat diterima harus lebih besar dari bunga pinjaman di bank.

Dari data analisis kelayakan ekonomi disimpulkan bahwa pabrik ini menguntungkan dan layak untuk didirikan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Aries, R.S and Newton R.D.,1955, "*Chemical Engineering Cost Estimation*", Mc. Graw Hill Book Company, New York
- Biro Pusat Statistik, 2006-2010, "*Statistik Perdagangan Luar Negeri Indonesia*" Jakarta
- Brown, G.G., 1950, "*Unit Operations*", John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Brownell, L.E. and Young, E.H., 1979, "*Process Equipment Design* ", John Wiley and Sons, Inc., New York. **(reaktor)**
- Coulson, J.M. and Richardson, J.F., 1983,"*Chemical Engineering*", Vol. 6, Pergamon Press, Oxford.
- Gary A. Peterson and Robert J. Schmidt, 2006, "*Q-MAX™ PROCESS FOR CUMENE PRODUCTION*", UOP LLC.
- Kern, D.Q., 1950, "*Process Heat Transfer*", McGraw-Hill International Book Company Inc., New York. **(reaktor)**
- Kirk R.E. and Othmer, D.F., 1978, "*Encyclopedia of Chemical Technology*", vol.1, 2<sup>nd</sup> edition, A Willey Interscience Publication, John Wiley and Sons Co., New York.
- Perry, R.H. and Green, D.W., 1997, "*Perry's Chemical Engineers' Handbook*", 7<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill Book Company, New York.
- Peters, M.S. and Timmerhaus, K.D., 2003, "*Plant Design and Economic for Chemical Engineering*", 5<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill International Book Company Inc., New York.
- Powell, S.T., 1954, "*Water Conditioning for Industry*", Mc. Graw Hill Book, Inc, New York.
- Sularso dan Tahara, H., 1991, "*Pompa dan Kompresor*", Mc. Graw Hill Book, Inc, New Cork.
- Smith, J.M, and Van Ness, H.C., 1975, *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*, 5<sup>th</sup> edition, Mc. Graw-Hill Kogakusha Ltd, Tokyo.
- Ulrich, G.D., 1978, *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*, John Wiley and Sons Inc., New York.
- Faith, W.L., Keyes, D.B. and Clerk, R. L., 1965,"*Industrial Chemicals*", 3<sup>rd</sup> Edition, John Willey and Sons, Inc., New York.
- Himmelblau M, David, 1984,"*Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering*", 6<sup>th</sup> Edition, Prantice Hall Co. Inc, New Jersey, U.S.A.
- [DIS] Digital Information Services. 2010. Packaging and Paper and Cardboard Boxes Manufacturing in Indonesia, Indonesia Industry Report and Market Research, Industry Code : C3412, February 23, 2010. <http://www.disb2b.com/front/industryreport.php?klui=K3412>. [20 Jan 2012]
- [repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/25986/1/Reference.pdf](http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/25986/1/Reference.pdf) Diakses pada Februari 2013
- <http://www.ihs.com/products/chemical/planning/ceh/cumene.aspx> Diakses pada Februari 2013
- <http://www.icis.com/chemicals/cumene/> Diakses pada Februari 2013
- [www.mache.com](http://www.mache.com). Diakses pada Februari 2013